

Паси Маннинен (Pasi Manninen) | pasi.manninen@sslresource.com |

Измерение параметров светодиодных источников света, ламп и светильников

с помощью гониометра

Гониофотометр — это поворотный прибор для измерения распределения силы света светильников в пространстве. Сила света при этом может быть определена путем измерения освещенности (в дальнем поле) или яркости (в ближнем поле) на фиксированном расстоянии от светильника, вращаемого в разных направлениях. При достаточно малом шаге и широком диапазоне изменения угла поворота можно надежно рассчитать световой поток светильника путем суммирования всех значений силы света по всем направлениям, в которых производилось измерение. По измеренному распределению силы света можно определять различные светотехнические параметры, например строить поперечные и продольные кривые равной освещенности (изолюксы), а также строить и анализировать конусные диаграммы.

Гониофотометры бывают разных конструкций:

- с вращением источника света вокруг вертикальной оси и горизонтальной оси;
- с вращением источника света вокруг вертикальной оси и вращением фотометра вокруг горизонтальной оси;
- с вращением источника света вокруг вертикальной оси и вращением системы зеркал вокруг горизонтальной оси;
- с вращением фотометра вдоль поверхности воображаемой сферы.

Гониофотометр первого (простого) типа производства компании SSL Resource представлен на рис. 1.

Гониофотометр такого типа, в отличие от остальных, требует внесения поправки к значению светового потока в зависимости от пространственной ориентации при измерении традиционных (не светодиодных) источников света, например люминесцентных ламп или ламп накаливания, так как световой поток этих источников меняется при изменении их пространственной ориентации относительно направления силы тяжести. В остальных типах гониофотометров светильник всегда остается в своем рабочем положении.

Гониофотометрические измерения параметров полупроводниковых источников света (обыкновенных и органических светодиодов) выполнять проще вследствие отсутствия сильной зависимости от пространственной ориентации. У некоторых полупроводниковых светильников наблюдается слабый эффект подобного рода, обусловленный незначительным изменением тепловых режимов. Его величина зависит от формы и типа радиатора светильника, а также от типа гониометра. Однако соответствующие постоянные времени изменения температуры зачастую настолько велики (в зависимости от радиатора), что за короткий период сканирования результаты не изменяются.

Также следует учитывать, что скорость вращения полупроводникового светильника

влияет на конвекционную теплопередачу. Когда параметры светильника измеряются большим зеркальным гониофотометром, эффективная скорость светильника, вращающегося вокруг зеркала, достаточно высока, и потому световой поток возрастает вследствие более сильного охлаждения, чем в компактных гониофотометрах первого типа, в которых светильник вращается вокруг обеих осей. Можно сказать, что в таких зеркальных гониофотометрах может возникнуть эффект принудительной конвекции. Эффект охлаждения можно ослабить, снизив скорость вращения, а значит, и производительность.

Требования к измерительной установке

Комната для гониометрических измерений должна быть полностью окрашена краской черного цвета и оборудована соответствующими экранирующими диафрагмами для экранирования изучения, рассеянного от стен, пола и потолка. Полупроводниковый светильник монтируется на гониометре таким образом, чтобы оси вращения проходили сквозь его фотометрический центр, а ось светильника была параллельна оптической оси. Требования к размерам лабораторной комнаты существенно зависят от выбранного типа гониофотометра и размеров светильников, которые планируется измерять.

Расстояние между фотометром и гониометром должно не менее чем в пять раз превышать наибольший поперечный размер источника, для того чтобы получить разумную точность измерений с точки зрения производителя светильника. Но это касается светильников с кривой силы света, близкой к ламбертовской (грубо говоря, с полушириной около 120°). Для более направленного источника света расстояние должно быть лишь незначительно большим.

Оценка погрешности измерений силы света, обусловленной малым расстоянием фотометрирования по сравнению с наибольшим размером излучающей поверхности источника

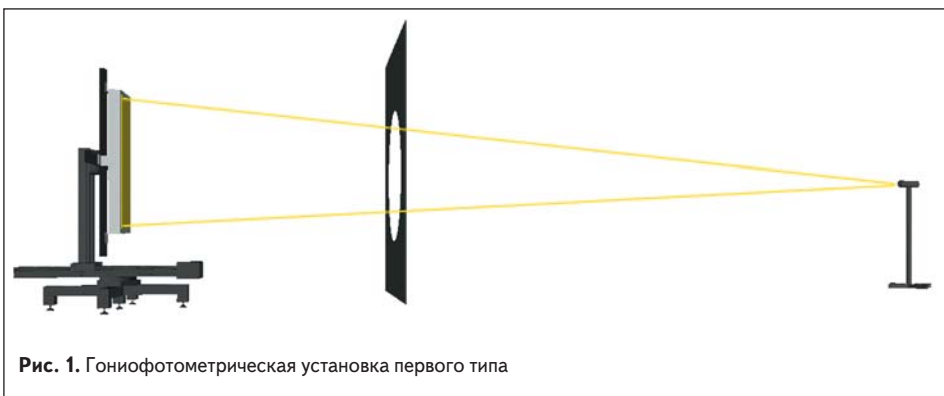


Рис. 1. Гониофотометрическая установка первого типа

света, может быть получена путем точечной аппроксимации детектора [1, 2]:

$$\Delta = 1 - \frac{D^2}{D^2 + \frac{1}{24} [(n_x + 3)x_0^2 + (n_y + 3)y_0^2]}$$

где параметры направленности источника света с прямоугольной излучающей областью размерами x_0^* y_0 в двух перпендикулярных плоскостях x/y определяются по формуле:

$$I_v(\theta_{x/y}) = I_0 \cos^{n_{x/y}}(\theta)$$

Эта погрешность велика при больших значениях размера излучающей поверхности и параметра направленности в одной плоскости. Для линейных источников света ($y_0 \gg x_0$) обычно $n_y \approx 1$ (угол излучения $2\theta_{1/2} = 120^\circ$) и $n_x < 180$ ($2\theta_{1/2} > 10^\circ$), поэтому суммарное влияние направленности на требуемое расстояние фотометрирования мало, и в большинстве случаев закон 5-кратного размера излучающей поверхности сохраняет свое действие.

Если задняя стенка гониофотометрической лаборатории обита специальной диффузной черной бумагой или черным бархатом, а фотометр помещен в экранирующую камеру для защиты от постороннего света (с набором диафрагм), отношение минимальной длины, ширины и высоты заводской лаборатории к наибольшей длине светильника составляет 6, 2 и 1,5 соответственно.

Требования к гониометру

Размеры гониометра определяются размерами и формой излучающей поверхности светильника, а также требуемой точностью измерения. Гониометр должен предусматривать регулировку положения фотометрического центра светильников различной толщины (т. е. с различным расстоянием от задней поверхности до фотометрического центра) относительно осей вращения. При измерении параметров светильников, имеющих значительную долю потока излучения в верхней полусфере, конструкция вертикальной опоры гониофотометра должна обеспечивать минимальное экранирование потока, чтобы свести к минимуму мертвый угол и обеспечить покрытие всего углового диапазона излучения. Гониофотометр для полупроводниковых светильников позволяет измерять оба типа распределений силы света, изображенные на рис. 2. В случае симметричного светильника с излучением вверх и вниз гониометр (рис. 3) должен быть оборудован дополнительной осью с автоматическим или ручным управлением.

Требования к детектору

Сила света обычно измеряется широкополосным фотометром (фотометрической головкой, или, попросту говоря, люксметром) либо трехкоординатным колориметром, а не спектрометром, имеющий невысокую чувствительность и длительное время измерения. Кривая относительной спектральной

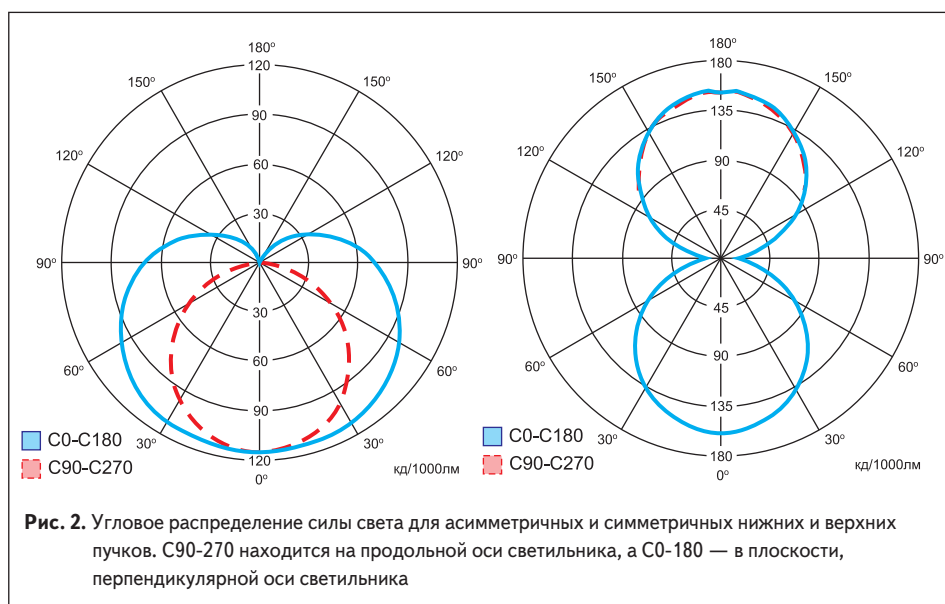


Рис. 2. Угловое распределение силы света для асимметричных и симметричных нижних и верхних пучков. C90-270 находится на продольной оси светильника, а C0-180 — в плоскости, перпендикулярной оси светильника

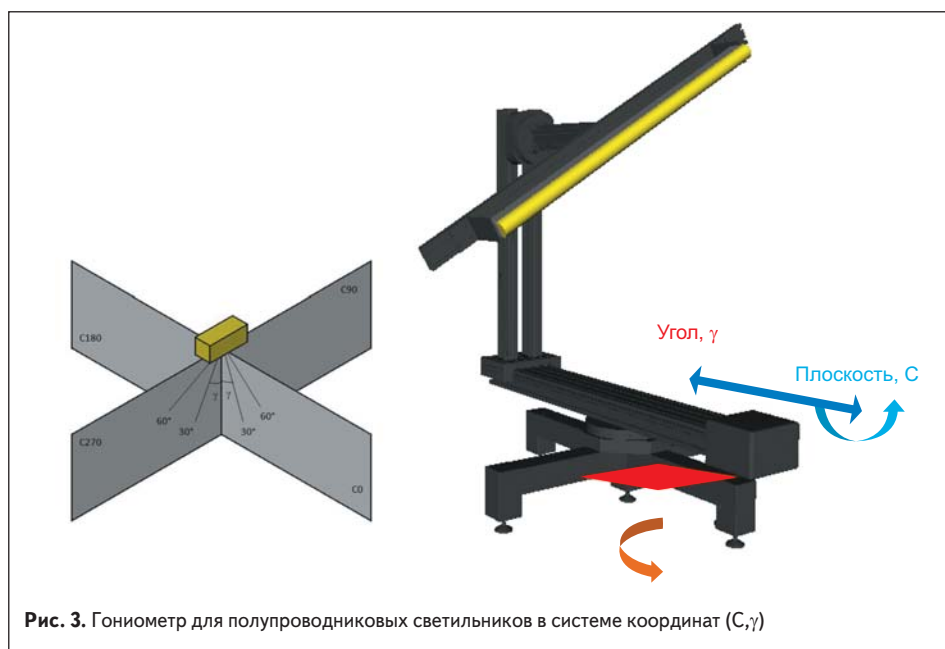


Рис. 3. Гониометр для полупроводниковых светильников в системе координат (C, γ)

чувствительности фотометра должна иметь хорошее согласование со стандартной кривой видности $V(\lambda)$ МКО 1924 г., описываемое спектральным коэффициентом качества f_1' .

Лабораторные фотометры класса L ($f_1' < 1,5\%$) и фотометры класса A ($f_1' < 3\%$) обычно считаются пригодными по характеристикам для гониофотометрических измерений (рис. 4).

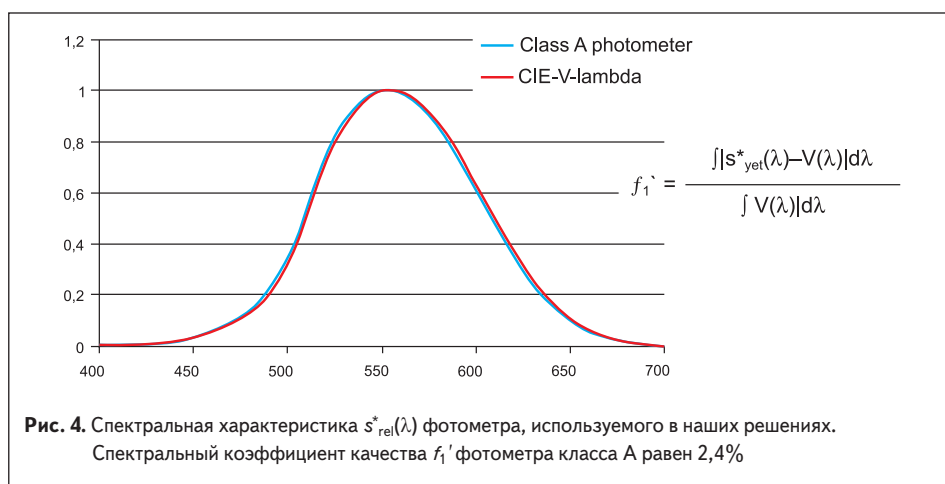


Рис. 4. Спектральная характеристика $S_{rel}^*(\lambda)$ фотометра, используемого в наших решениях. Спектральный коэффициент качества f_1' фотометра класса A равен 2,4%

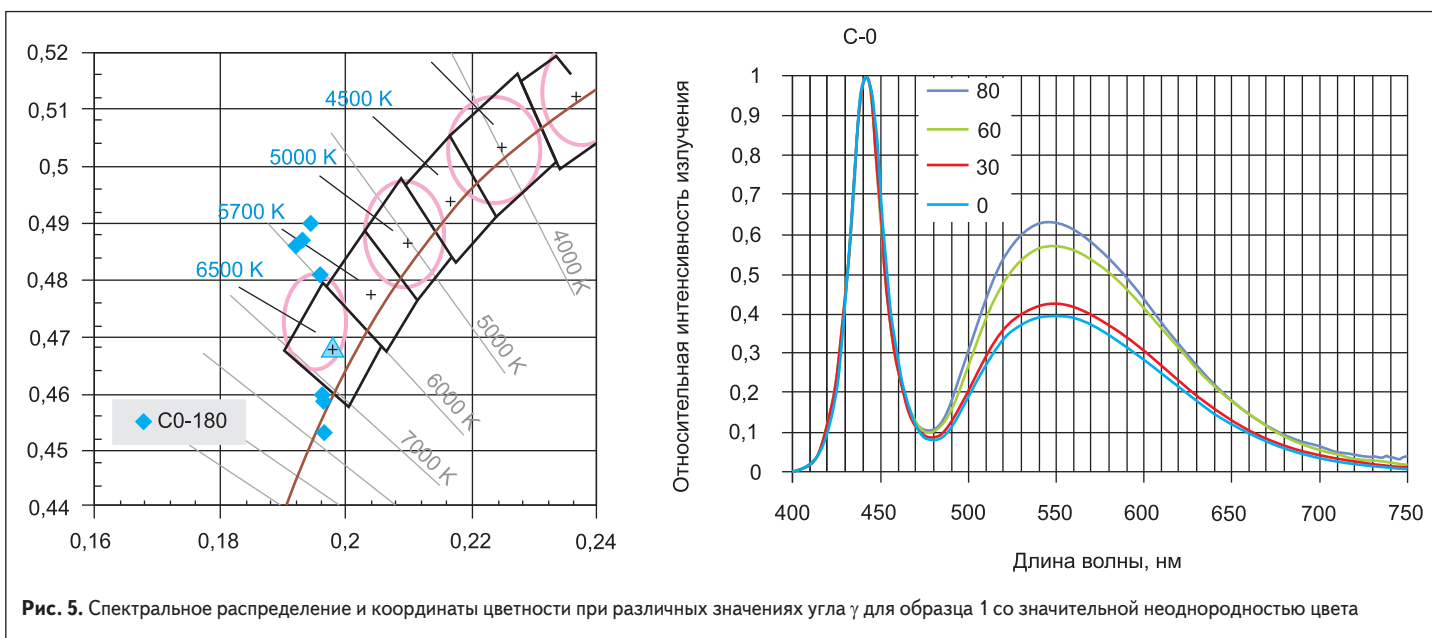


Рис. 5. Спектральное распределение и координаты цветности при различных значениях угла γ для образца 1 со значительной неоднородностью цвета

Вместе с тем значение коэффициента f_1' не позволяет судить о фактических погрешностях измерения силы света, обусловленных рассогласованием спектров для конкретного светильника, поскольку оно зависит от спектра исследуемого источника света и формы спектрального рассогласования. Стоит отметить, что у фотометра класса А эти неисправленные погрешности измерения иногда бывают меньше, чем у фотометра класса L. Более того, даже предельное отклонение погрешности измерения для группы спектров светодиодов в пределах типичного диапазона цветовых температур и индексов цветопередачи у реальных фотометров класса А может быть меньше, чем у фотометров класса L, поскольку область рассогласования удобно расположена относительно длин волн излучения типичных белых светодиодов.

Поскольку поправки на рассогласование спектров для типичных светодиодных источников белого света ($Ra > 70, 2700 K < ЦТ < 6500 K$) у используемых нашей компанией фотометров менее 0,6%, параметры светильников с белыми светодиодами, как правило, могут определяться без учета таких поправок, т. е. без дополнительных спектральных измерений. Однако при измерении светильников, включающих в себя цветные (монохромные) светодиоды, в том числе RGB-светильники, поправки обязательно должны быть рассчитаны при использовании любой фотометрической головки. Причем это требование распространяется на белые светодиоды как с очень низким индексом цветопередачи, так и с высоким значением цветовой температуры.

Изменения спектральных распределений светодиодных источников света в зависимости

от угла наблюдения обычно таковы, что изменяется только отношение максимумов голубого и широкополосного люминесцентного излучения, а вот сдвига длин волн не происходит (рис. 5, 6). Поэтому при гониофотометрических измерениях параметров светодиодных источников можно обойтись всего одним (усредненным) поправочным коэффициентом на рассогласование спектров, не потеряв разумной точности.

Гониоспектрометрическое измерение

Если в качестве детектора вместе с гониометром использовать спектрометр, то с помощью получившегося прибора — гониоспектрометра — можно измерять пространственную однородность цвета излучения светильника. Гониоспектрометр

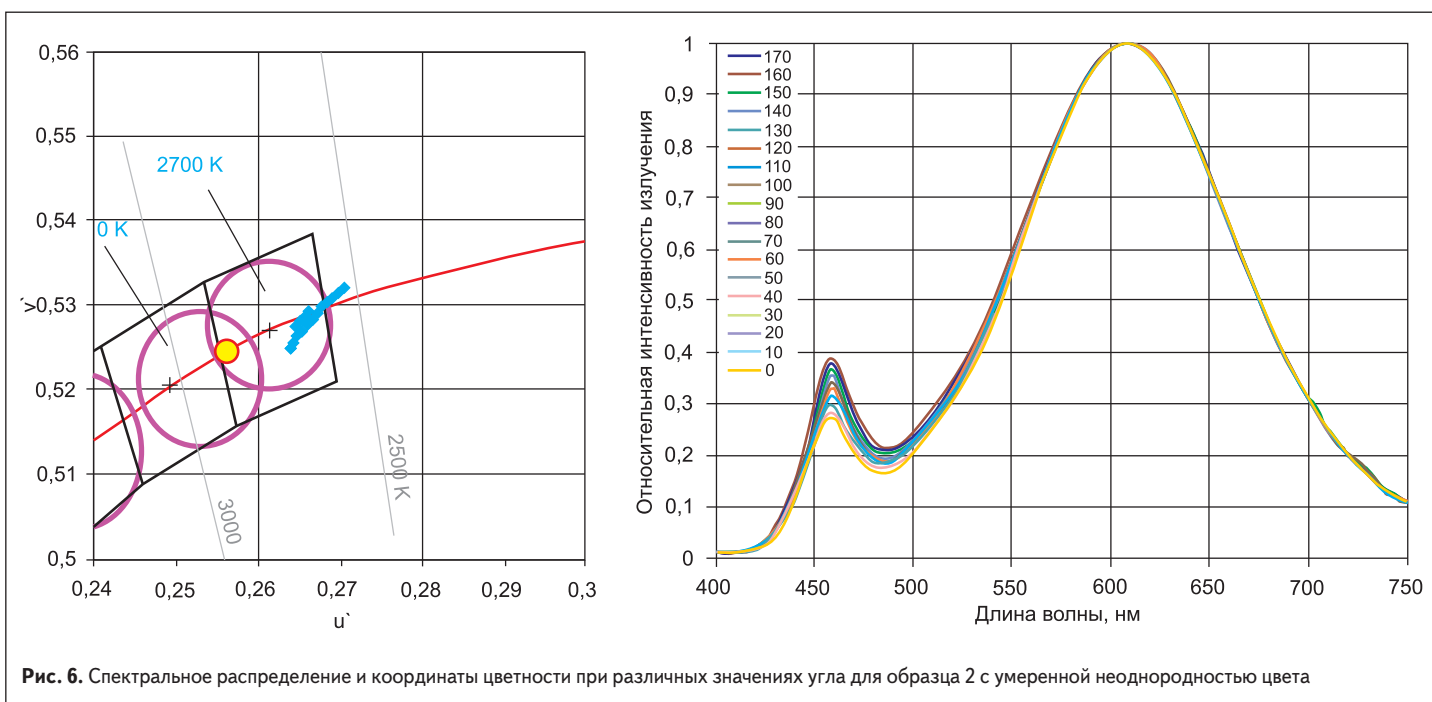


Рис. 6. Спектральное распределение и координаты цветности при различных значениях угла для образца 2 с умеренной неоднородностью цвета

измеряет координаты цветности, цветовые температуры и индексы цветопередачи в зависимости от угла наблюдения, а затем с помощью программного обеспечения гониоспектрометра определяется значение SDCM, соответствующее эллипсу Мак-Адама пределах которого находятся координаты цветности для различных направлений. С помощью высокоточного спектрометра можно также измерить распределение силы света, световой поток и энергоэффективность светильника. На рис. 5, 6 показаны спектральные характеристики излучения разных типов светодиодных светильников. Можно видеть, что один из исследуемых серийно выпускаемых светодиодных светильников демонстрирует более сильную неоднородность цвета в зависимости от угла наблюдения по сравнению с 7-ступенчатым эллипсом Мак-Адама.

Заключение

Гониофотометрические измерения параметров светодиодных световых приборов выполнять проще, чем традиционных источников, так как их фотометрические свойства обычно почти не зависят от пространственной ориентации относительно направления силы тяжести. Гониофотометрическая система, разработанная компанией SSL Resource, прежде всего ориентирована на использование в лабораториях заводов — изготовителей светодиодных источников света. Следует отметить, что благодаря своей точности она удовлетворит потребности и сертификационных лабораторий.

Такая система, экономически эффективная и простая в эксплуатации, наряду со всем прочим предусматривает возможность легкого внесения поправок в результаты измерений для источников света, зависящих от пространственной ориентации. Затраты на сооружение лаборатории также умеренные, поскольку требуемые размеры помещения невелики (обычно хватает высоты 2,3–3 м), а измерительное расстояние может быть разумно сокращено. Все эти преимущества достигаются за счет того, что в состав конструктива не входят большие зеркала и сложные растровые яркомеры.

Гониофотометр обеспечивает надежное измерение силы света, светового потока и световой отдачи благодаря особому вниманию, которое инженеры SSL Resource уделяют точности измерений фотометром и спектрометром, входящими в состав гониометрической системы. Программное обеспечение фотометра генерирует файлы углового распределения силы света в стандартных форматах EULUMDAT и IES для дальнейшего светотехнического моделирования (например, в программе Dialux). В расширенной версии программного обеспечения предусмотрены также дополнительные светотехнические параметры, такие как конусная диаграмма, зональный поток, суммарный поток, угол излучения, эффективное направление пучка, двумерные графики освещенности пола, продольные кривые равной освещенности и т. д.

Светодиодные светильники необходимо проверять, наряду с прочим, и на предмет угловой зависимости их цветовых параметров (координат (с_{sc}, c_{su})/(c_{scu}', c_{scv}'), цветовой температуры и индекса цветопередачи), поскольку изменение цвета в зависимости от направления может быть очень существенным. В этом случае SSL Resource предлагает гониометр, оснащенный спектрометрическим (так называемый гониоспектрометр), с помощью которого производитель светильников может измерять как неоднородность цвета в зависимости от угла наблюдения, так и общие цветовые параметры, соответствующие измерениям на фотометрическом шаре. Специализированное программное обеспечение гониоспектрометров анализирует неоднородность цвета как зависимость среднеквадратичного отклонения согласования цвета, цветовой температуры и индекса цветопередачи от угла наблюдения и рассчитывает эффективные параметры (c_{scu}', c_{scv}'), цветовую температуру, индекс цветопередачи, оптическую и тепловую мощность. ●

Литература

1. Manninen P., Kärh P., Ikonen E. Determining the irradiance signal from an asymmetric source with directional detectors: application to calibrations of radiometers with diffusers // *Appl. Opt.* **47**, 4714–4722 (2008).
2. Ikonen E., Manninen P., Kärh P. Modeling distance dependence of LED illuminance // *Light & Engineering* **15**, 57–61 (2007).